

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ

Кафедра общей физики

Н.И.МОНАХОВА, Е.А.ФИЛИППОВА, А.И ФИШМАН

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ
ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА
ПО ОПТИКЕ. ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА.**

Казань – 2012

*Принято на заседании кафедры общей физики
Протокол № 8 от 6 марта 2012 года*

Рецензент:

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптики
и нанофотоники Института физики КФУ **Е.В. Сарандаев**

Монахова Н.И., Филиппова Е.А., Фишман А.И.

Экспериментальные задачи общего физического практикума по оптике. Поляризация света / Н.И.Монахова, Е.А.Филиппова, А.И. Фишман – Казань: Казан. ун-т, 2012. – 30 с.

Методическое пособие «Экспериментальные задачи общего физического практикума по оптике. Поляризация света» предназначено для студентов физических и нефизических специальностей.

Описаны лабораторные работы физического практикума общего курса физики, раздел «Оптика», по теме «Поляризация света». К каждой работе даны подробные описания установок, порядок выполнения исследований и список вопросов для обсуждения с преподавателем, работа над которыми поможет глубже понять смысл полученных результатов.

**© Монахова Н.И., Филиппова Е.А.,
Фишман А.И., 2012**

**© Институт физики Казанского
(Приволжского) университета, 2012**

ОГЛАВЛЕНИЕ

401. Формулы Френеля.....	4
Упражнение 1. Сборка и юстировка оптической схемы для изучения зависимости коэффициента отражения от угла падения и поляризации падающего излучения.	6
Упражнение 2. Исследование зависимости коэффициента отражения от угла падения и поляризации падающего света.....	7
Упражнение 3. Определение показателя преломления пластинки.....	8
Упражнение 4. Определение степени поляризации естественного света, отраженного от стеклянной пластинки.....	8
701. Исследование линейно - поляризованного света и проверка закона Малюса.	9
702. Получение и исследование поляризованного света.	11
Упражнение 1. Проверка закона Малюса.....	14
Упражнение 2. Определение главных направлений кристаллической пластинки.	15
Упражнение 3. Получение и исследование поляризованного света с помощью кристаллической пластинки $\lambda/4$	15
Упражнение 4. Получение и исследование поляризованного света с помощью кристаллической пластинки $\lambda/2$	16
703. Изучение вращения плоскости поляризации на модели поляриметра.....	16
Цель работы: изучить явление вращения плоскости поляризации света.	16
Упражнение 1. Наблюдение и измерение зависимости угла вращения плоскости поляризации от длины волны λ	18
Упражнение 2. Определение удельной постоянной вращения раствора сахара.	19
Упражнение 3. Исследование зависимости удельной постоянной вращения раствора сахара от длины волны λ	19
704. Изучение вращения плоскости поляризации на поляриметре.	20
705. Вращение плоскости поляризации в магнитном поле (эффект Фарадея).	24
Упражнение 1. Калибровка магнитного поля.	26
Упражнение 2. Исследование зависимости угла поворота плоскости поляризации ϕ от величины индукции магнитного поля B	28

401. ФОРМУЛЫ ФРЕНЕЛЯ

Цель работы: экспериментально доказать, что коэффициент отражения света от диэлектрика зависит от угла падения и поляризации падающего излучения.

Если на границу раздела двух прозрачных диэлектриков падает под углом, отличным от нуля, естественный свет, то отраженная и преломленная световая волна будут частично поляризованы.

На рис.1 изображены и обозначены соответствующими значками \perp и \parallel составляющие векторов напряженности электрического поля падающей, отраженной и преломленной волн (они обозначены индексами 0, 1 и 2, соответственно).

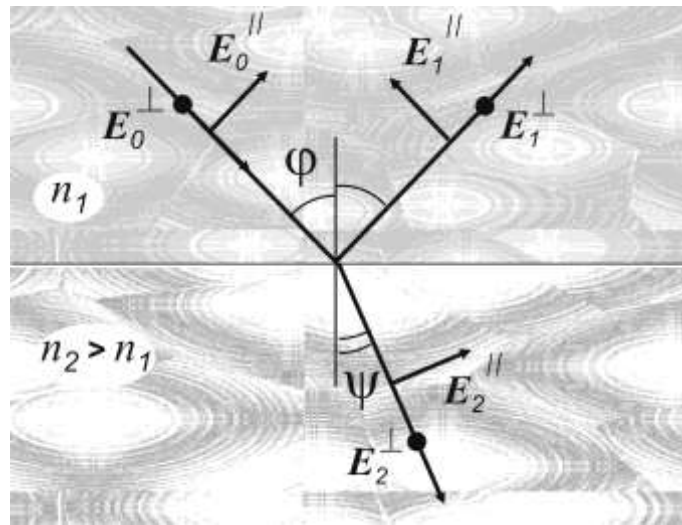


Рис. 1. Перпендикулярные и параллельные составляющие вектора E в падающей (индекс 1), отраженной (индекс 2) и преломленной (индекс 3) волнах.

Относительные значения этих величин следуют из граничных условий, налагаемых на электрическое и магнитное поле световой волны. Формулы, связывающие компоненты векторов E , были впервые получены О.Френелем и носят название **формулы Френеля**:

$$E_1^\perp = -E_0^\perp \frac{\sin(\varphi - \psi)}{\sin(\varphi + \psi)} \quad (1), \quad E_1^\parallel = E_0^\parallel \frac{\tan(\varphi - \psi)}{\tan(\varphi + \psi)} \quad (2)$$

$$E_2^\perp = E_0^\perp \frac{2 \cos \varphi \sin \psi}{\sin(\varphi + \psi)} \quad (3), \quad E_2^\parallel = E_0^\parallel \frac{2 \cos \varphi \sin \psi}{\sin(\varphi + \psi) \cos(\varphi - \psi)} \quad (4)$$

Так как интенсивность (I) пропорциональна квадрату амплитуды электромагнитной волны, то для коэффициентов отражения параллельной (R_\parallel) и перпендикулярной составляющих (R_\perp) можно записать:

$$R_\perp = \left(\frac{E_1^\perp}{E_0^\perp} \right)^2 = \frac{\sin^2(\varphi - \psi)}{\sin^2(\varphi + \psi)}, \quad (5) \quad R_\parallel = \left(\frac{E_1^\parallel}{E_0^\parallel} \right)^2 = \frac{\tan^2(\varphi - \psi)}{\tan^2(\varphi + \psi)}. \quad (6)$$

Из соотношения (6) следует, что при выполнении условия $\varphi + \psi = \pi/2$ коэффициент $R_\parallel = 0$. Этот угол называется углом Брюстера. Используя закон преломления, можно связать этот угол с показателями преломления диэлектриков:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\text{Б}} = \frac{n_2}{n_1} . \quad (7)$$

Если пропустить частично поляризованный свет через поляризатор, то при его вращении вокруг направления луча интенсивность прошедшего света будет изменяться в пределах от I_{\max} до I_{\min} , причем переход от одного из этих значений к другому будет совершаться при повороте на угол, равный $\pi/2$.

Выражение

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (8)$$

называется *степенью поляризации*.

Для плоскополяризованного света $I_{\min}=0$ и $P=1$; для естественного света $I_{\max}=I_{\min}$ и $P=0$.

Решаемые задачи:

- приобрести навыки юстировки оптической схемы для изучения зависимости коэффициента отражения от угла падения и поляризации падающего излучения;
- получить экспериментальные зависимости коэффициента отражения от угла падения и поляризации падающего света;
- определить угол Брюстера и показатель преломления для пластинки из диэлектрика;
- определить степень поляризации отраженного света при различных углах падения.

Оптические элементы и аппаратура (рис.2):

- ✓ осветитель с лампой накаливания (1);
- ✓ ирисовая диафрагма (2);
- ✓ линза с фокусным расстоянием $f = +200$ мм (3);
- ✓ поляризатор со шкалой (4);
- ✓ держатель стеклянной пластинки (5);
- ✓ стеклянная пластинка (6);
- ✓ линза с фокусным расстоянием $f = +150$ мм (7);
- ✓ кремниевый фотоэлемент (8);
- ✓ мультиметр (9);
- ✓ транспортер (10);
- ✓ подвижные штативы (11).



Рис.2 Внешний вид экспериментальной установки.

Свет от лампы накаливания 1 проходит сквозь ирисовую диафрагму 2 и падает на линзу 3. Параллельный пучок света, сформированный этой линзой, проходит через поляризатор 4 и падает на стеклянную пластинку 6. Отраженный от нее свет падает на собирающую линзу 7 и фокусируется на светочувствительную площадку кремниевого фотоэлемента 8. Интенсивность света в относительных единицах регистрируется мультиметром 9.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Сборка и юстировка оптической схемы для изучения зависимости коэффициента отражения от угла падения и поляризации падающего излучения.

Фотография экспериментальной установки приведена на рис.1.

1. На левой направляющей рейке, на отметке 15 см, установите осветитель 1 (все расстояния отсчитываются от левых краев держателей). Подсоедините осветитель к крайним клеммам источника питания (12 В).

2. На отметке 32 см установите ирисовую диафрагму (2). Вращая желтую ручку, сделайте диаметр диафрагмы 8-10 мм. Середина диафрагмы и середина линзы осветителя должна быть на одной высоте.

3. Включите осветитель и направьте луч света параллельно направляющей 5. Для этого возьмите лист белой бумаги и, наблюдая на ней яркое пятно, удаляйте лист от осветителя вдоль направляющей и следите за центром пучка. Он должен оставаться на одной высоте. При необходимости, можно повернуть или изменить его наклон, аккуратно ослабив соответствующие винты. Не забудьте затем крепко их затянуть.

4. На отметке примерно 49 см установите линзу 3 с фокусным расстоянием 200 мм. Перемещая линзу вверх-вниз, вновь направьте пучок параллельно направляющей. А перемещая линзу вдоль направляющей, добейтесь, чтобы пучок вновь был близок к параллельному.

5. Установите угол между направляющими 100° , перемещая треугольные основания 11. Угол отсчитывается по транспортиру 10. Установите нулевое деление транспортира напротив правой стороны направляющей.

6. Установите на столике с транспортом 10 стеклянную пластинку 6. Пластинка должна стоять вертикально, чтобы отраженный от нее пучок распространялся параллельно правой направляющей. Поворачивать пластинку вместе со столиком можно *только за вертикальный стержень 5*. Направьте отраженный свет вдоль правой направляющей и следите, чтобы середина светового пучка оставалась на той же высоте от направляющей. Поднимать и опускать луч можно наклоном пластинки.

7. На правой направляющей, на отметке ~ 49 см, установите фотоэлемент 8. Поворачивая столик со стеклянной пластинкой, направьте световой пучок на фотоэлемент.

8. На отметке ~ 37 см установите собирающую линзу 7 с фокусным расстоянием 150 мм. Перемещая линзу вверх-вниз и вдоль направляющей, соберите пучок на светочувствительной поверхности фотоэлемента в круг, диаметром примерно 8 – 10 мм.

9. Подсоедините к фотоэлементу мультиметр и включите его, нажав клавишу «on/off». Показания мультиметра пропорциональны интенсивности падающего света.

10. На левой направляющей, на отметке 53 см, установите поляризатор 4. Вращая поляризатор, наблюдайте, что показания мультиметра меняются. При положении поляризатора 0° плоскость поляризации будет вертикальной. Поскольку плоскость падения луча на пластинку горизонтальна, то в падающей волне будет присутствовать только перпендикулярная составляющая вектора \mathbf{E} падающей волны \mathbf{E}_0^\perp . При положении поляризатора 90° , в падающей волне, соответственно, будет присутствовать только параллельная составляющая \mathbf{E}_0^\parallel .

Упражнение 2. Исследование зависимости коэффициента отражения от угла падения и поляризации падающего света.

1. Установите угол между направляющими $2\varphi = 30^\circ$. Если теперь поворотом пластинки добиться, чтобы отраженный от пластинки луч попал на фотоэлемент, то угол падения света на пластинку будет равен φ , т.е. половине угла между направляющими, т.е. равен φ). Установите поляризатор под углом 0° . Поворачивая столик с пластинкой, направьте отраженный луч на фотоэлемент. При этом показания фотоэлемента будут максимальными. Занесите эту величину в таблицу (I_1^\parallel). Поверните поляризатор на 90° . Запишите показания мультиметра (I_1^\perp). Верните поляризатор в положение 0° . Выполните измерения, последовательно увеличивая угол между

направляющими на 10 градусов (при этом угол φ будет меняться с шагом 5^0). Результаты занесите в таблицу:

$\varphi / \text{град}$	I_1^{\parallel}	I_1^{\perp}
15		
20		
25		
...		
75		

2. Поскольку падающий свет неполяризован, то интенсивности

$$I_0^{\parallel} = I_0^{\perp} = \text{const}.$$

Так как коэффициенты отражения равны:

$$R_{\parallel} = \frac{I_1^{\parallel}}{I_0^{\parallel}}, \text{ а } R_{\perp} = \frac{I_1^{\perp}}{I_0^{\perp}},$$

то величины R_{\parallel} и R_{\perp} будут с одинаковыми коэффициентами пропорциональны интенсивностям I_0^{\parallel} и I_0^{\perp} , соответственно. Поэтому зависимости I_0^{\parallel} и I_0^{\perp} от φ с точностью до выбора масштаба совпадают с зависимостями соответствующих коэффициентов отражения от угла падения.

3. Постройте зависимости I_0^{\parallel} и I_0^{\perp} от угла падения φ на одной координатной сетке.

4. Объясните полученные результаты.

Упражнение 3. Определение показателя преломления пластинки.

1. Из зависимости I_1^{\parallel} от угла падения φ определите угол Брюстера.
2. Определите показатель преломления пластинки по углу Брюстера.
3. Оцените возможный разброс значений.

Упражнение 4. Определение степени поляризации естественного света, отраженного от стеклянной пластинки.

1. Снимите поляризатор с левой направляющей и установите его перед собирающей линзой 7 на правой направляющей
2. Установите угол между направляющими $2\varphi = 60^0$ и направьте отраженный свет на фотоэлемент.
3. Вращая поляризатор на 180^0 , определите максимальное и минимальное значение интенсивности.
4. По формуле (8) определите степень поляризации отраженного света для трех углов падения: 30^0 , 60^0 и 70^0 . Результаты представьте в виде таблицы:

$\varphi / \text{град}$	I_{\max}	I_{\min}	$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$
30			
60			
70			

5. Объясните полученные данные.

Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Отражение и преломление света на границе двух прозрачных диэлектриков. Формулы Френеля.
2. Объяснить необходимость и функции всех оптических элементов экспериментальной установки.
3. Объяснить порядок юстировки оптической схемы.
4. Объяснить полученные экспериментальные результаты, сравнить их с теоретическими данными.
5. Указать возможные источники экспериментальных ошибок.

Рекомендуемая литература

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§135, 136.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §65.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2. Изд.10, М., Физматлит, 2008. §§134,135.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §3.1, §3.2
5. Ахманов С.А., Никитин С.Ю. Физическая оптика. Изд.2., М., МГУ, 2004. Лекция 20.

701.ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНО - ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА И ПРОВЕРКА ЗАКОНА МАЛЮСА.

Цель работы: изучить явление поляризации света.

Решаемые задачи:

- получить линейно поляризованный свет;
- пронаблюдать изменения интенсивности света в зависимости от угла между осями поляризатора и анализатора;
- проверить справедливость закона Малюса;

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ малая оптическая скамья (1);
- ✓ осветитель (галогенная лампа в корпусе) (2) и блок питания (3);
- ✓ держатель с тепловым фильтром (4);
- ✓ селеновый фотоэлемент (5);

- ✓ поляроиды - поляризатор (6) и анализатор (7);
- ✓ цифро-аналоговый мультиметр (8);
- ✓ универсальные зажимы (9).

В данной работе линейно поляризованный свет получается при прохождении излучения от галогенной лампы (2) через поляризатор (6).

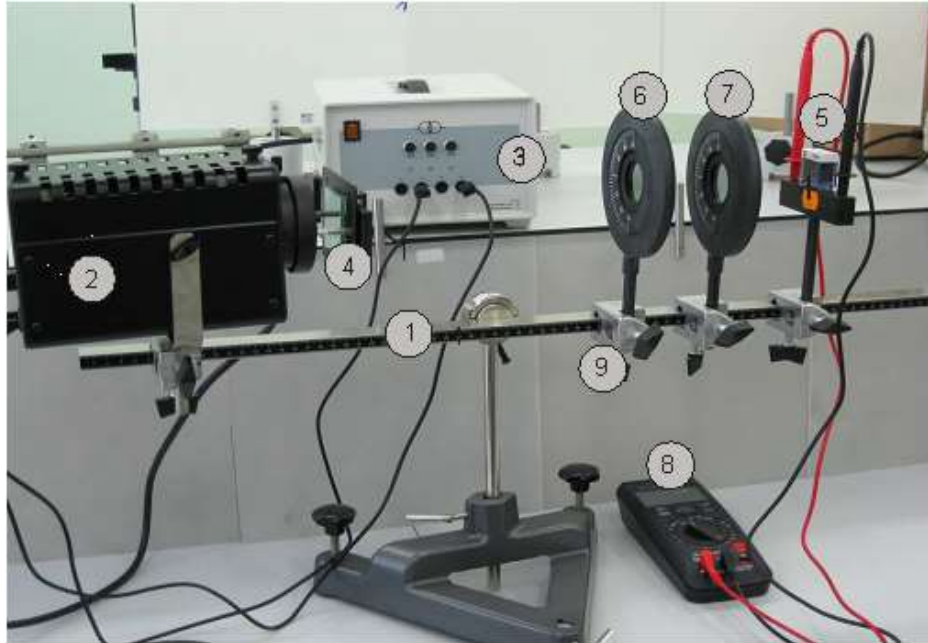


Рис. 1. Общий вид установки

Порядок выполнения работы:

1. Включить галогенную лампу.
2. Установить поляроиды в зажимах на одной высоте так, чтобы луч света от галогенной лампы проходя через них попадал на селеновый фотоэлемент.
3. Установить поляризатор на 90° (по делениям на его оправе), а анализатор повернуть так, чтобы интенсивность света, проходящего через систему, была максимальна.
4. Последовательно поворачивая анализатор (6) с шагом $5 - 10^\circ$, измерить фотоэдс для каждой ориентации анализатора. Провести эти измерения для поворота анализатора на 180° .
5. Неизбежный фон (шум) сигнала, обусловленный внешним освещением скорректировать, вычитая из всех полученных значений фотоэдс величины I_{\min} - значение фотоэдс в минимуме.
6. На координатной сетке построить график зависимости I/I_{\max} (где I – величина фотоэдс при данном угле поворота анализатора, а I_{\max} - значение фотоэдс в максимуме) от угла между плоскостями поляризатора и анализатора.

7. Для сравнения с теоретическим законом на той же координатной сетке построить график функции: $y = \cos^2 \varphi$, где φ - угол, отсчитываемый от направления максимального пропускания поляризаторов.

Вопросы для обсуждения с преподавателем:

1. Виды поляризации света. Закон Малюса.
2. Явление двойного лучепреломления.
3. Построение Гюйгенса для одноосных кристаллов.
4. Анализ поляризованного света.
5. Поляризационные приспособления (поляроиды, поляризационные призмы).
6. Эксперимент. Анализ результатов эксперимента.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. Главы XVI, XVII, XVIII.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §62, §§75–79.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 5. М., АСТ: Астрель, 2006. Глава 6.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §1.2, §§4.1–4.4.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава IX.

702. ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗОВАННОГО СВЕТА.

Цель работы: изучить явление поляризации света.

Решаемые задачи:

- получить линейно поляризованный свет;
- пронаблюдать изменения интенсивности света в зависимости от угла между осями поляризатора и анализатора;
- проверить справедливость закона Малюса;
- пронаблюдать прохождение плоскополяризованного света через кристаллическую пластинку, вырезанную из одноосного кристалла параллельно его оптической оси;
- определить вид поляризации света в зависимости от толщины пластинки и угла между направлением колебаний электрического вектора в поляризованном свете, падающем на пластинку и осью пластинки.

Рассмотрим прохождение линейно поляризованного света через кристалл. Свет определенной длины волны, прошедший через поляризатор, направим *нормально* на кристаллическую пластинку, вырезанную из одноосного кристалла *параллельно* его оптической оси.

Внутри кристалла будут распространяться по одному направлению, но с различными скоростями два луча, поляризованные в двух взаимно перпендикулярных направлениях, которые принято называть главными направлениями (β - и γ -) кристаллической пластинки.

Если путь лучей в кристалле равен l , то возникающая на этом пути оптическая разность хода равна $\Delta = l \cdot (n_o - n_e)$ и соответствующая этой разности хода разность фаз будет равна:

$$\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot l \cdot (n_o - n_e) .$$

На выходе из кристалла колебания вектора \mathbf{E} представляют сумму двух взаимно перпендикулярных колебаний одинаковой частоты с разностью фаз φ . Если смотреть навстречу лучу, то конец результирующего вектора \mathbf{E} непрерывно вращается, скользя по эллипсу. На рис. 1 изображена схема такой эллиптически поляризованной волны, распространяющейся в направлении оси Ox .

Форма эллипса и его ориентация относительно осей (оптической оси и направления, перпендикулярного ей) зависят от разности хода складывающихся волн. Эллиптическая поляризация - наиболее общий вид поляризации поперечных волн. Частными случаями эллиптической поляризации являются: линейная, когда длина одной из осей эллипса равна нулю, и круговая (циркулярная), когда оси эллипса одинаковы.

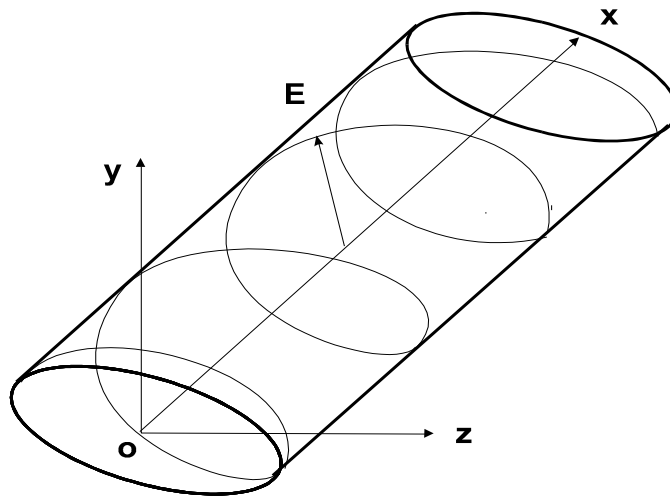


Рис. 1. Эллиптически поляризованная волна.

Анизотропная пластинка, при прохождении которой разность оптических путей обыкновенной и необыкновенной волн составляет:

$$\Delta = l \cdot |n_o - n_e| = (m + 1/4)\lambda ,$$

где $m = 0, 1, 2, \dots$, называется пластинкой в четверть волны.

Если линейно поляризованный свет падает нормально на такую пластинку, то выходящий из нее свет будет в общем случае эллиптически поляризован. Оси эллипса будут параллельны главным направлениям пластинки. Если плоскость поляризации падающего на пластинку луча делит

пополам угол между главными направлениями, то свет, выходящий из пластинки в четверть волны, будет поляризованным по кругу.

Кристаллическая пластинка, вносящая разность хода между обыкновенным и необыкновенным лучами:

$$\Delta = l \cdot |n_o - n_e| = (m + 1/2)\lambda \quad ,$$

где $m = 0, 1, 2 \dots$, называется полуволновой или пластинкой в половину длины волны.

На выходе из такой пластинки обыкновенный и необыкновенный лучи, складываясь, вновь дают линейно поляризованный свет, однако его плоскость поляризации окажется повернутой на угол 2α (α - угол между плоскостью колебаний вектора \mathbf{E} в падающей волне и осью пластинки).

Основной задачей данной работы является ознакомление с методами получения света с различным видом поляризации и со способами исследования состояния поляризации светового пучка.

Четвертьволновая и полуволновая пластинки являются таковыми только для определенной длины волны света. Для волновых пластинок, которые используются в данной работе, необходимо использовать желтый свет.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ оптическая скамья (1);
- ✓ осветитель (галогенная лампа в корпусе) (2) и блок питания (3);
- ✓ держатель и стеклянный фильтр (4);
- ✓ поляроиды – поляризатор (5) и анализатор (6);
- ✓ четвертьволновая пластинка (7);
- ✓ полуволновая пластинка (8);
- ✓ цифро-аналоговый мультиметр (9);
- ✓ селеновый фотоэлемент (10);
- ✓ универсальные зажимы (11);
- ✓ желтый светофильтр (входит в комплект и устанавливается в держателе 4).



Рис.1. Общий вид установки



Рис 2.Отдельные детали установки

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Проверка закона Малюса.

1. Убрать четвертьволновую и полуволновую пластинки с оптической скамьи (они будут использоваться в следующих упражнениях). Включить галогенную лампу.
2. Установить поляроиды в зажимах на одной высоте так, чтобы луч света от галогенной лампы проходя через них попадал на селеновый фотоэлемент.
3. Установить поляризатор на 90° , а анализатор повернуть так, чтобы интенсивность света, проходящего через систему, была максимальна.
4. Последовательно поворачивая анализатор (6, рис.1) с шагом $5 - 10^\circ$, измерить фотоздс для каждой ориентации анализатора. Провести эти измерения для поворота анализатора на 180° .

5. Неизбежный фон (шум) сигнала, обусловленный внешним освещением скорректировать, вычитая из всех полученных значений фотоэдс величины I_{\min} - значение интенсивности в минимуме.
6. На координатной сетке построить график зависимости I/I_{\max} (где I – величина фотоэдс при данном угле поворота анализатора, а I_{\max} - значение фотоэдс в максимуме) от угла между плоскостями поляризатора и анализатора.
7. Для сравнения с теоретическим законом на той же координатной сетке построить график функции $y = \cos^2 \varphi$, где φ - угол, отсчитываемый от направления максимального пропускания поляризаторов.

Упражнение 2. Определение главных направлений кристаллической пластинки.

1. Скрестить поляризатор и анализатор (интенсивность прошедшего света, и, следовательно, фотоэдс при этом минимальны). Записать отсчеты на оправах поляризатора и анализатора, соответствующих этому положению (ориентировочно – поляризатор на 90° , анализатор на 0°).
2. Установить между ними кристаллическую пластинку $\lambda/4$. Последовательно поворачивая пластинку от 0° до 180° с шагом $5-10^\circ$, измерять в каждом положении пластинки фотоэдс.
3. Построить график зависимости интенсивности света (величины фотоэдс) от угла поворота пластинки.
4. Найти по этому графику значения углов ориентации пластинки, при которых интенсивность прошедшего через систему света будет минимальной. Эти положения определяют главные направления кристаллической пластинки.

Упражнение 3. Получение и исследование поляризованного света с помощью кристаллической пластинки $\lambda/4$.

1. Поместите между осветителем и фотоэлементом поляризатор и анализатор. Сориентируйте поляризатор в положение 0° по делениям на его оправе.
2. Измерьте интенсивность света (величину фотоэдс) как функцию положения анализатора в пределах угла φ от -90° до $+90^\circ$ с шагом $5-10^\circ$.
3. Поместите пластинку $\lambda/4$ на оптическую скамью между поляризатором и анализатором.
4. Измерьте интенсивность света как функцию положения анализатора в пределах угла φ от -90° до $+90^\circ$ с шагом $5-10^\circ$ (т.е. повторите пункт 2) для различных углов α главного направления кристаллической пластинки с направлением пропускания поляризатора ($\alpha=0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$).
5. Постройте на одной координатной сетке графики зависимости фотоэдс от положения анализатора для случаев, когда:

- а) между поляризатором и анализатором нет пластинки $\lambda/4$;
- б) пластинка $\lambda/4$ помещена под углами $\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$.

Упражнение 4. Получение и исследование поляризованного света с помощью кристаллической пластинки $\lambda/2$.

1. Поместите пластинку $\lambda/2$ на оптическую скамью между поляризатором и анализатором.
2. Измерьте интенсивность света как функцию положения анализатора в пределах угла φ от -90° до $+90^\circ$ с шагом $5-10^\circ$ для различных углов α кристаллической пластинки ($\alpha = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$).
3. Постройте на одной координатной сетке графики зависимости величины фотоэдс от положения анализатора для случаев, когда:
 - а) между поляризатором и анализатором нет пластинки $\lambda/2$ (данные возьмите из пункта 2 упражнения 2);
 - б) пластинка $\lambda/2$ помещена под углами $\alpha=0^\circ, 30^\circ, 45^\circ$.
4. Сравните и объясните результаты, полученные в упражнениях 2 и 3.

Вопросы для обсуждения с преподавателем:

1. Виды поляризации света.
2. Закон Малюса.
3. Явление двойного лучепреломления.
4. Построение Гюйгенса для одноосных кристаллов.
5. Прохождение линейно поляризованного света через кристаллическую пластинку. Пластинки « $\lambda/2$ » и « $\lambda/4$ ».
6. Анализ поляризованного света.
7. Поляризационные приспособления (поляроиды, поляризационные и двоякопреломляющие призмы).
8. Эксперимент. Анализ результатов эксперимента.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. Главы XVI, XVII, XVIII.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §62, §§75–79.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 5. М., АСТ: Астрель, 2006. Глава 6.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §1.2, §§4.1–4.4.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава IX.

703.ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА МОДЕЛИ ПОЛЯРИМЕТРА.

Цель работы: изучить явление вращения плоскости поляризации света.

Решаемые задачи:

- пронаблюдать зависимость угла вращения плоскости поляризации раствором сахара от длины волны;
- определить углы вращения плоскости поляризации для различных длин волн;
- используя закон Био, определить удельную постоянную вращения раствора сахара $[\alpha]$.

Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ малая оптическая скамья (1);
- ✓ осветитель (галогенная лампа в корпусе) (2) и блок питания (3);
- ✓ держатель и стеклянный фильтр (4);
- ✓ поляроиды - поляризатор (5) и анализатор (6);
- ✓ стеклянная плоскопараллельная кювета с раствором сахара (7);
- ✓ линза с фокусным расстоянием $f = +100$ см (8);
- ✓ экран (9);
- ✓ универсальные зажимы (10);
- ✓ светофильтры на разные длины волн (входят в комплект и устанавливаются в держателе 4).



Рис. 1. Общий вид установки

Простейшей моделью поляриметра, используемой в данной работе, является система из двух скрещенных поляризационных фильтров (поляризатора и анализатора), между которыми помещается слой оптически активного вещества (раствора сахара). Измерение угла поворота плоскости поляризации производится при помощи установки анализатора на темноту поля зрения в присутствии и отсутствии оптически активного вещества. Этот метод является приближенным, т.к. человеческий глаз не может точно

определить положение, в котором анализатор установлен на полное затемнение поля зрения.

Порядок выполнения работы:

Упражнение 1. Наблюдение и измерение зависимости угла вращения плоскости поляризации от длины волны λ .

Подготовка к измерениям:

1. Соберите установку как на рис. 1.
2. Поместите тепловой (прозрачный стеклянный) фильтр в держатель (4) на пути луча.
3. Включите лампу.
4. Установите поляризатор и анализатор так, чтобы нанесенные на их оправы шкалы были обращены к экрану и поставьте их на 90^0 (интенсивность света, проходящего через систему при этом максимальна).
5. Переместите линзу так, чтобы поле зрения на экране было максимально освещено.

Замечание! Если наблюдения ведутся при ярком внешнем освещении (например, при солнечной погоде), то интенсивность картины на экране будет очень слабой. Тогда эксперимент следует проводить, убрав линзу и экран, наблюдая картину непосредственно со стороны анализатора. Чтобы галогенная лампа при этом не оказывала слепящего действия, ее накал можно уменьшить с помощью блока питания.

6. Налейте 50 мл раствора сахара известной концентрации в плоскую стеклянную кювету (примерно до уровня 5 см) и закройте кювету.
7. Поместите кювету на предметный столик вдоль направления луча и выровняйте кювету так, чтобы при наблюдении со стороны анализатора поле зрения делилось на две приблизительно равные части: в одной половине наблюдается свет, идущий от источника, в другой - свет, проходящий через кювету. ***(Внимание! заполнение и размещение кюветы следует проводить под наблюдением преподавателя или инженера лаборатории).***

А. Наблюдение в белом свете:

1. Вращением анализатора добейтесь полного затемнения того участка поля зрения, где наблюдается свет, идущий от источника (поляризатор и анализатор скрещены). Убедитесь, что через кювету с сахаром при этом свет проходит.
2. Пронаблюдайте изменение цвета излучения, проходящего через кювету с раствором сахара при вращении анализатора (зависимость угла поворота плоскости поляризации от длины волны).

В. Наблюдение в монохроматическом свете:

1. Поместите красный фильтр в держатель (4).

2. Вращением анализатора добейтесь полного затемнения того участка поля зрения, где наблюдается свет, идущий от источника. Убедитесь, что через кювету с сахаром при этом свет проходит.
3. Для полного затемнения участка поля зрения, куда попадает свет, проходящий через кювету, необходимо повернуть анализатор на некоторый угол φ_1 . Определите этот угол.
4. Аналогичные измерения проведите для зеленого, желтого и синего фильтра, определив соответственно углы φ_2 , φ_3 и φ_4 .
5. Результаты представьте в виде таблицы, в которой приведите углы поворота плоскости поляризации для различных цветов.

Упражнение 2. Определение удельной постоянной вращения раствора сахара.

В данном упражнении наблюдения ведутся в белом свете.

1. Вращением анализатора добейтесь полного затемнения того участка поля зрения, где наблюдается свет, идущий от источника. Через кювету с сахаром при этом свет проходит;
2. Для полного затемнения участка поля зрения, куда попадает свет, проходящий через кювету, необходимо повернуть анализатор на некоторый угол φ_0 . Определите этот угол;
3. Измерьте длину кюветы d (длину пути, проходимого светом в оптически активном веществе);
4. Зная концентрацию раствора сахара, угол поворота плоскости поляризации φ_0 и d определите постоянную вращения сахара, используя закон Био.

Упражнение 3. Исследование зависимости удельной постоянной вращения раствора сахара от длины волны λ .

1. Рассчитайте (см. пункт 4 упр.2) удельную постоянную вращения для различных λ , используя данные, полученные в упр. 1.

2. Используя данные табл.1, постройте график зависимости $[\alpha]$ от $\frac{1}{\lambda^2}$.

Таблица 1. Длины волн в максимуме пропускания для различных фильтров.

фильтр	красный	желтый	зеленый	синий
λ , нм	650	579	529	450

Вопросы для обсуждения с преподавателем:

1. Виды поляризации света.
2. Закон Малюса.
3. Естественное вращение плоскости поляризации. Оптически активные вещества.
4. Феноменологическая теория вращения плоскости поляризации.
5. Эксперимент. Анализ результатов эксперимента.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. Главы XVI, XVII, XXX.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§ 62, 94.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 5. М., АСТ: Астрель, 2006. Глава 6.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §1.2, §2.9, §§4.1–4.4.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава IX, глава XII (§ 5, 6).

704.ИЗУЧЕНИЕ ВРАЩЕНИЯ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА ПОЛЯРИМЕТРЕ.

Некоторые вещества, называемые *оптически активными*, обладают способностью вызывать вращение плоскости поляризации проходящего через них линейно поляризованного света.

К их числу относятся кристаллические тела (кварц, киноварь), чистые жидкости (скипидар, никотин) и растворы оптически активных веществ в неактивных растворителях (водные растворы сахара, винной кислоты и т.д.).

Различают *правое* вращение, когда вещество поворачивает плоскость поляризации по часовой стрелке (для наблюдателя, смотрящего навстречу световому лучу), и *левое* - при вращении плоскости поляризации в обратном направлении.

В случае химически чистого вещества угол поворота плоскости поляризации пропорционален толщине слоя l :

$$\varphi = \alpha \cdot l$$

Коэффициент пропорциональности α называется постоянной вращения или вращательной способностью. Он характеризует природу вещества, зависит от длины волны света и температуры.

Для растворов угол поворота плоскости поляризации пропорционален толщине слоя раствора и молярной концентрации c оптически активного вещества:

$$\varphi = [\alpha] \cdot l \cdot c \quad (\text{закон Био}),$$

где $[\alpha]$ - постоянная вращения (удельное вращение). Постоянная вращения примерно обратно пропорциональна длине волны ($[\alpha] \sim 1/\lambda^2$).

Теория вращения плоскости поляризации была развита Френелем. Он показал, что явление вращения плоскости поляризации сводится к особому виду двойного лучепреломления. Линейно поляризованная волна может рассматриваться как суперпозиция двух циркулярно поляризованных волн E_1 и E_2 с противоположными направлениями вращения электрического вектора. В оптически активном веществе они распространяются с различными скоростями. На выходе из вещества между колебаниями векторов E_1 и E_2 возникает постоянная разность фаз, которая обуславливает поворот

плоскости поляризации. Поворот происходит в направлении вращения того луча, который проходит в веществе с большей скоростью.

Особенностью оптически активных веществ является то, что их молекулы не имеют центра и плоскости симметрии. Молекулы таких веществ могут существовать в виде двух зеркально симметричных изомерных форм - **оптических изомеров**. Один из оптических изомеров вращает плоскость поляризации вправо, другой - влево. Вещество в целом будет вращать плоскость поляризации света, в том случае, если концентрации оптических изомеров различны.

Оптически активные кристаллы также существуют в виде двух модификаций: право- и левовращающей. Обе модификации отличаются друг от друга внешней формой и внутренней кристаллической структурой. Обе модификации не конгруэнтны, т.е. правая не может быть наложена на левую и наоборот.

Наблюдать вращение плоскости поляризации можно, поместив между скрещенными поляризатором и анализатором слой оптически активного вещества. При этом в монохроматическом свете поле зрения просветляется. Чтобы поле зрения вновь сделать темным, необходимо повернуть анализатор на некоторый угол φ . Этот угол равен углу поворота плоскости поляризации.

Однако такой метод определения φ недостаточно точен, так как затемнение поля зрения происходит постепенно, и зафиксировать момент полного исчезновения света трудно.

Для устранения этого недостатка применяют полутеневого метод. Этот метод используется в поляриметре с кварцевой пластинкой, в котором установка производится не на полную темноту, а на равномерное освещение двух и более частей поля зрения. В оптическую схему поляриметра, используемого в данной работе (рис.2), кроме поляризатора (4) и анализатора (7) вводят полуволновую кварцевую пластинку небольшой толщины (5), ориентированную по отношению к поляризатору так, что она поворачивает плоскость поляризации лучей, прошедших через поляризатор, на небольшой угол 2α . Кварцевая пластинка вырезана так, что она перекрывает лишь среднюю часть поля зрения, наблюдаемого в окуляр. Боковые же части поля зрения освещаются светом, прошедшим только через поляризатор. Таким образом, поле зрения делится на три части.

Если колебания векторов напряженности плоскополяризованного света, вышедшего из поляризатора (ОР) и кварцевой пластинки (ОС) расположены симметрично относительно оси анализатора (ОА), то поле зрения в соответствии с законом Малюса освещено равномерно (рис. 1а):

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_0 \cos^2 \alpha$$

Такая картина наблюдается без оптически активного вещества в поляриметре и с этим положением связан ноль шкалы прибора.

При помещении в поляриметр правовращающего оптически активного вещества направления колебаний ОР и ОС поворачиваются на угол φ по часовой стрелке (положение ОР' и ОС', рис. 1б). Теперь ОР' и ОС'

составляют с ОА углы $(\alpha - \varphi)$ и $(\alpha + \varphi)$, соответственно. В этом случае поле зрения будет освещено различно:

$$I_1 = I_3 = I_0 \cos^2(\alpha - \varphi) \quad (\text{боковые части поля зрения})$$

$$I_2 = I_0 \cos^2(\alpha + \varphi) \quad (\text{центральная часть поля зрения}).$$

Соответствующая картина наблюдается при помещении в поляриметр левовращающего оптически активного вещества (рис 1, в). При малом значении угла φ даже небольшой поворот на угол α приводит к заметному нарушению равенства освещенностей обоих полей.

Вращение плоскости поляризации активным веществом может быть скомпенсировано поворотом анализатора на угол φ вокруг направления луча. Тогда ось анализатора ОА' будет расположена симметрично относительно ОР' и ОС' (рис.1, б и в) и поле зрения вновь будет освещено равномерно. Угол φ , на который поворачивают анализатор, равен углу вращения плоскости поляризации оптически активным веществом.

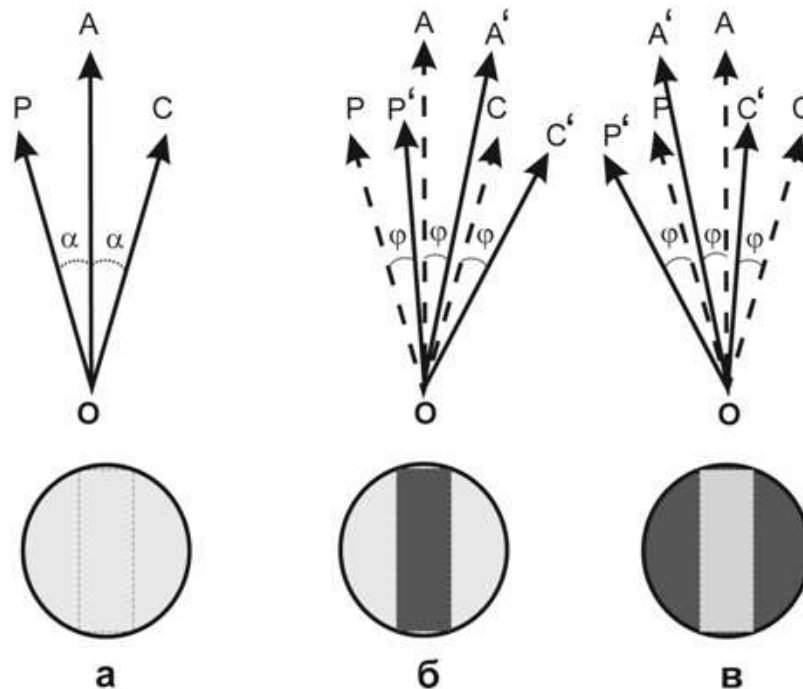


Рис. 1 Принцип формирования поля зрения поляриметра.

Оптическая схема прибора приведена на рис.2. В качестве источника света используется натриевая лампа ($\lambda = 589,3$ нм, 20 Вт). Свет от лампы (1) проходит через собирающую линзу (2), светофильтр (3) и попадает на поляризатор (4). Далее плоскополяризованный свет проходит через кварцевую пластинку (5), трубку с раствором сахара (6), анализатор (7), объектив (8) и окуляр (9) зрительной трубки. Через окуляр наблюдается световое поле. АВ – узел поляризатора, CD – узел анализатора.

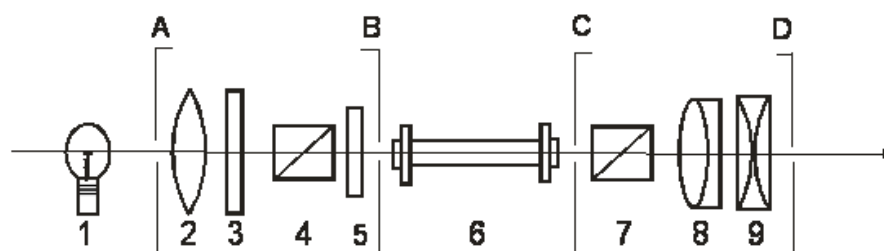


Рис. 2 Оптическая схема поляриметра.

Угол поворота анализатора отсчитывается по шкале лимба (рис. 3), которая поделена на 360° (с ценой деления 1°). Шкала лимба снабжена подвижным нониусом, при помощи которого отсчитываются доли градуса. Цена деления нониуса $0,05^{\circ}$.

Целые значения градусов считывается по шкале лимба, между которыми остановился ноль нониуса. Сотые доли градуса определяются так. Находится деление нониуса, которое совпадает с делением лимба. Число, стоящее против этого деления нониуса, умножается на 0,05. Например, отсчет на рис. 3 равен 1,20.

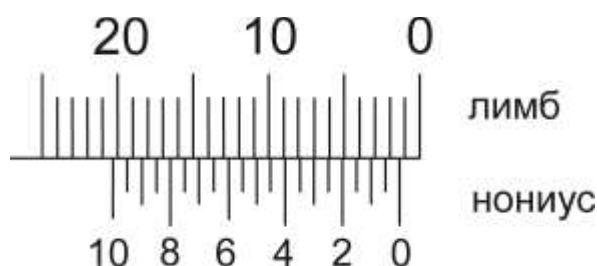


Рис. 3 Измерительные шкалы лимба и нониуса.

Общий вид прибора приведен на рис. 4. Здесь 1 – источник света, 2 – камера для кювет (трубок) с оптически активным веществом, Поворот



Рис. 4. Общий вид прибора

анализатора производится поворотом винта (3). Вращением муфты (4) производится фокусировка зрительной трубки, 5 – шкала прибора.

Порядок выполнения работы:

1. Включить поляриметр.
2. Вынуть кювету (трубку) из камеры для образцов (2) и привести анализатор в нулевое положение, при котором поле зрения имеет равномерную освещенность (рис. 1а). Произвести отсчет φ_0 по лимбу и нониусу.
3. Поместить трубку с раствором известной концентрации в камеру для образцов. Освещенность поля зрения становится такой как на рис. 1 (б или в).
4. Повернуть анализатор винтом (3) настолько, чтобы вновь получить равномерную освещенность поля зрения. Определить по шкале (5) значение угла φ' и вычислить угол поворота плоскости поляризации как разность: $\varphi = |\varphi' - \varphi_0|$.
5. Повторить пункты 3-4 для трубок другой длины с раствором такой же концентрации, как в первой трубке.
6. Построить график зависимости $\varphi(l)$, где l – длина трубки.

Вопросы для обсуждения с преподавателем:

1. Виды поляризации света.
2. Закон Малюса.
3. Естественное вращение плоскости поляризации. Оптически активные вещества.
4. Феноменологическая теория вращения плоскости поляризации.
5. Полутеневого метод измерения вращения плоскости поляризации.
6. Эксперимент. Анализ результатов эксперимента.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. Главы XVI, XVII, XXX.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§ 62, 94.
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 5. М., АСТ: Астрель, 2006. Глава 6.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §1.2, §2.9, §§4.1–4.4.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава IX, глава XII (§§5, 6)

705. ВРАЩЕНИЕ ПЛОСКОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИИ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ (ЭФФЕКТ ФАРАДЕЯ).

Цель работы:

- изучить явление вращения плоскости поляризации света магнитным полем (явление Фарадея).

Решаемые задачи:

- пронаблюдать зависимость угла вращения плоскости поляризации оптически неактивным веществом (стекло типа флинт) в магнитном поле;
- определить углы вращения плоскости поляризации для различных значений индукции магнитного поля B .

В 1846 г. Фарадей обнаружил вращение плоскости поляризации в так называемых оптически неактивных веществах, помещенных в сильное постоянное магнитное поле. Это явление наблюдается при распространении света вдоль направления намагниченности и называется эффектом Фарадея. Исторически наблюдения Фарадея были первым свидетельством того, что оптические и магнитные явления взаимосвязаны.

Опыты Фарадея, а затем более точные измерения Верде, показали, что угол φ поворота плоскости поляризации пропорционален длине пути света в веществе l и индукции внешнего магнитного поля B в веществе:

$$\varphi = R \cdot l \cdot B \quad (1)$$

где коэффициент R называется постоянной Верде. Этот коэффициент зависит от рода вещества, физических условий и длины волны.

Зависимость постоянной Верде от длины волны имеет вид:

$$R = A/\lambda^2 + C/\lambda^4, \quad (2)$$

где A и C – некоторые константы.

Вещества, поворачивающие плоскость поляризации по часовой стрелке для наблюдателя, смотрящего в направлении магнитного поля, условились считать *положительными*, а против часовой стрелки – *отрицательными*.

Характерной особенностью магнитного вращения плоскости поляризации является то, что направление вращения связано только с направлением магнитного поля и не зависит от направления распространения света. Этот факт можно использовать для усиления наблюдаемого эффекта за счет удлинения пути светового луча в веществе при многократном отражении.

Оптические элементы и аппаратура :

- ✓ малая оптическая скамья (1);
- ✓ осветитель (галогенная лампа в корпусе) (2) и блок питания (3);
- ✓ держатель и тепловой фильтр (4);
- ✓ мультиметр (5);
- ✓ поляроиды – поляризатор (6) и анализатор (8);
- ✓ полупрозрачное зеркало (7);
- ✓ обмотки электромагнита (9);
- ✓ магнит (10);
- ✓ зеркало (11);
- ✓ образец (стекло типа флинт) (12);
- ✓ Combi B-Sensor S (1, рис.2);
- ✓ Mobil CASSY Lab (2, рис.2);

- ✓ кабель (3, рис.2);
- ✓ светофильтры на разные длины волн (входят в комплект и устанавливаются в держателе 4).

Общий вид установки приведен на рис. 1.

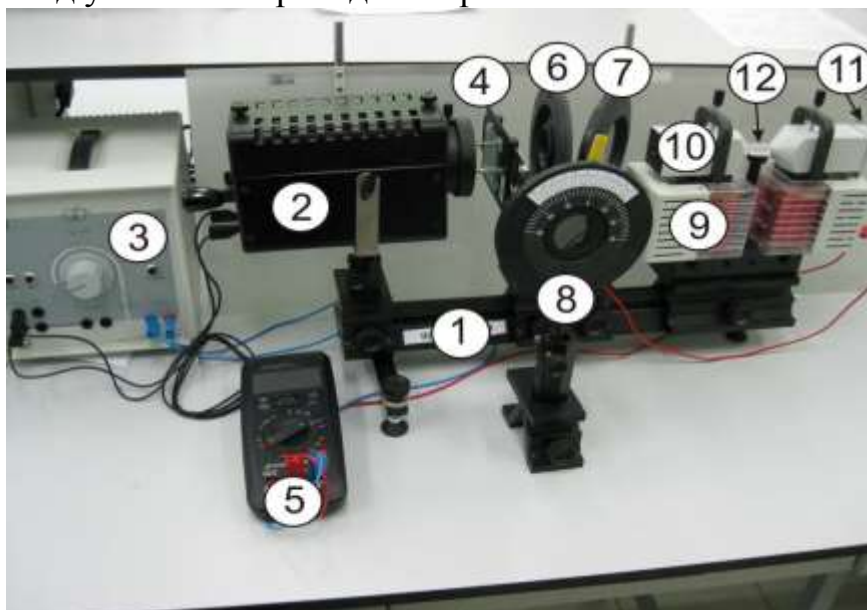


Рис. 1 . Схема экспериментальной установки.

Свет от источника (2) проходит через цветной и тепловой фильтры, закрепленные в держателе (4) (фильтр голубоватого оттенка, стационарно закрепленный в держателе, является тепловым), поляризатор (6), полупрозрачное зеркало (7), отверстия в магните (10), образец — стекло типа флинт (12) и отражается от зеркала (11), которое поворачивает пучок в обратную сторону. Луч вновь проходит через образец, затем отражается от полупрозрачного зеркала (7) и проходит через анализатор (8). Со стороны анализатора проводится визуальное наблюдение освещенности поля зрения. Таким образом, в данной установке свет проходит образец (флинт) *дважды*, при этом угол поворота плоскости поляризации увеличивается, и точность измерений возрастает.

Магнитное поле в зазоре электромагнита создается током, проходящем от блока питания (3) через его обмотки (9). Сила тока измеряется мультиметром (5). Величину индукции магнитного поля B можно изменять, меняя силу тока поворотом регулятора на панели блока питания. Индукция магнитного поля измеряется прибором Mobil CASSY Lab (2 на рис.2 и рис.4). Датчик магнитного поля находится на конце зонда прибора Combi B-Sensor S (1 на рис.2).

Порядок выполнения работы.

Упражнение 1. Калибровка магнитного поля.

1. Установите регулятор блока питания (3) в нулевое положение.
2. Включите блок питания (3).
3. Уберите образец (12) с предметного столика.
4. Соедините Combi B-Sensor S (1) с Mobil CASSY (2) кабелем (3) (рис. 2).



Рис. 2 . Combi B-Sensor S с Mobil CASSY

5. Расположите зонд датчика Combi B-Sensor S между полюсами магнита как на рис. 3.

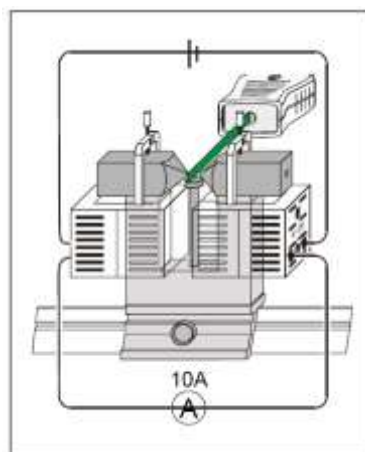


Рис.3. Схема калибровки магнитного поля.

6. Включите сенсор Mobil CASSY, нажав клавишу 1 (рис. 4). Прибор показывает фоновое магнитное поле, обусловленное внешними магнитными полями. При дальнейших измерениях индукции магнитного поля это значение следует вычитать из всех полученных величин B .
7. Меняя силу тока I через обмотку электромагнита от 0 до 10A с шагом в 1A, зафиксируйте значения индукции магнитного поля B для различных I .
8. Выключите сенсор Mobil CASSY. Замечание. Сенсор Mobil CASSY выключается последовательным нажатием двух клавиш – 1 и 2 (рис 4).



9. Уберите зонд датчика Combi B-Sensor S из магнитного поля.
10. Отключите блок питания.
11. Постройте график зависимости $B(I)$.
12. Установите регулятор блока питания (3) в нулевое положение.

Упражнение 2. Исследование зависимости угла поворота плоскости поляризации ϕ от величины индукции магнитного поля B .

1. Включите блок питания.
2. Вставьте зеленый фильтр в держатель слайдов.
3. Поместите флинт на предметный столик (12, рис. 1).
4. Установите поляризатор (6) в положение 90^0 .
5. Установите полупрозрачное зеркало (7, рис.1) под углом 45^0 к оси установки, чтобы в нем можно было наблюдать отверстие в полюсах магнита.
6. Поворачивая анализатор, найдите минимум интенсивности света, проходящего через систему (скрестите поляризатор и анализатор).
7. Определите угол ориентации анализатора ϕ_0 ,

Примечание. Определение угла ориентации анализатора производится по шкалам лимба и нониуса, находящимся на оправе анализатора (рис.5). По шкале лимба угол определяется с точностью до 5^0 . Цена деления шкалы нониуса равна $0,25^0$. Шкала нониуса имеет левую и правую от нуля части. Если нуль шкалы нониуса находится *левее* нуля шкалы лимба, то отсчет по шкале нониуса производится по *левой* от нуля части шкалы, если *правее* – то по *правой*.

Сначала определите целое число делений лимба, укладывающихся между нулем лимба и нулем нониуса. По этому числу делений определяется угол с точностью до 5^0 . Затем найдите деление нониуса, которое совпадает с делением лимба. Число градусов, стоящее против этого деления нониуса, прибавляется к полученному по лимбу значению. Так, на рис.5 угол поворота анализатора составляет $7,5^0$.

8. По калибровочному графику $B(I)$, построенному в первом упражнении, выставьте ток через обмотку электромагнита так, чтобы индукция магнитного поля B была ~ 60 мТл. При этом плоскость поляризации повернется, через систему будет проходить свет и поле зрения светлеет.

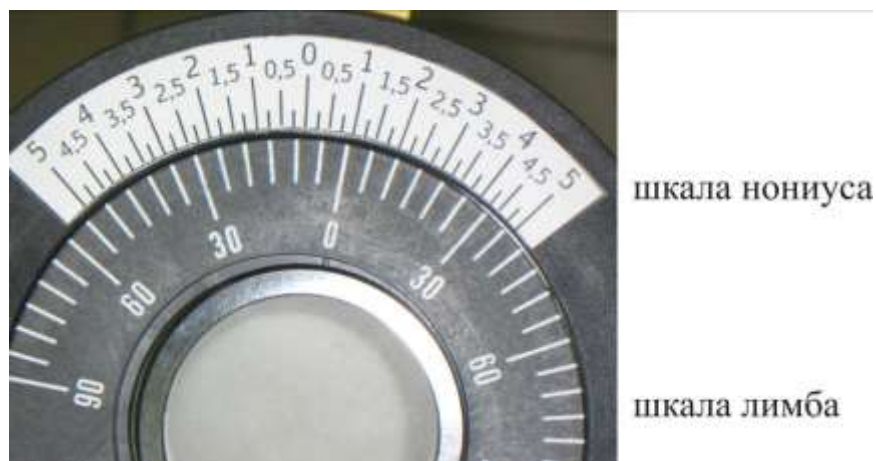


Рис. 5. Шкалы лимба и нониуса анализатора

9. Вновь найдите минимум интенсивности путем поворота анализатора. По шкале и нониусу измерьте угол φ_1' , и определите угол поворота плоскости поляризации магнитным полем как:

$$\varphi_1 = \varphi_1' - \varphi_0.$$
10. Проведите аналогичные измерения $\varphi_2, \varphi_3, \dots \varphi_n$ для других значений индукции магнитного поля B с шагом 25 мТл, варьируя ток через электромагнит.
11. Постройте график зависимости $\varphi(B)$.

Вопросы для обсуждения с преподавателем:

1. Виды поляризации света. Закон Малюса.
2. Вращение плоскости поляризации в магнитном поле (эффект Фарадея).
3. Анализ результатов эксперимента, проведенного в данной работе.

Рекомендуемая литература.

1. Ландсберг Г.С. Оптика, Изд.6, М., Физматлит, 2006. §§ 101, 102, 104–106, 163–169.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. т.4. Оптика. Изд.3. М., Физматлит, 2005. §§ 62, 94, 95/
3. Савельев И.В. Курс общей физики. Книга 5. М.,: Астрель-АСТ, 2006. §§6.1; 6.3; 6.8.
4. Бутиков Е.И. Оптика. Изд.2, С-Пб., Невский диалект, 2003. §§ 1.2; 2.8.
5. Годжаев Н.М. Оптика., М., Высшая школа, 1977. Глава IX, глава XII (§ 5, 6).

**Монахова Наталья Ивановна, Филиппова Елена Алексеевна,
Фишман Александр Израилович**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ
ОБЩЕГО ФИЗИЧЕСКОГО ПРАКТИКУМА ПО ОПТИКЕ.
ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА.**

Дизайн обложки

Подписано в печать.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Формат 60х84 1/16. Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. .

Тираж экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Издательства Казанского университета

420008, г. Казань, ул. Профессора Нужина, 1/37
тел. (843) 233-73-59, 233-73-28